

Het probleem van de oorsprong der oceanen kan in 't begin gemakkelijk verward worden met dit van de oorsprong van de aarde. In welk tijdsperspektief dient men zich allereerst te plaatsen ?

Wanneer men het siderisch universum, waartoe het zonnestelsel behoort, op een 15 miljard jaar schat, schijnen de planeten zelf nauwelijks meer dan 5 à 7 miljard jaar te tellen. Deze schattingen berusten op overvloedige metingen met betrekking tot verschillende isotopen in het universum.

In welke toestand verkeerde de aarde aanvankelijk ?

Men is thans ver van de simplistische opvatting van een geleidelijk afgekoelde vuurbol, daarna van een diluviaanse regen welke de oceaanbekkens vult. Tegenover de theorieën, die "warme" primitieve gasachtige stadia onderstellen, staan de misschien meer aanneembare hypotesen van een samendrukking van afgekoelde stoffen. Aldus zou men onder meer kunnen uitleggen dat enkel de gassen en vloeistoffen, die door scheikundige verbinding aan de metalen of kristallen gehecht zijn, konden ingelijfd worden: water H_2O , dat in staat is waterstof te verwekken door dissociatie; ammoniak NH_3 en de nitraten, die in staat zijn stikstof te verwekken; kooloxyde en het koolgas CO en CO_2 ; sulfieten en eenvoudige organische samenstellingen. Het is inderdaad merkwaardig dat de edele gassen, die niet op een scheikundige verwantschap kunnen bogen, aan het aardoppervlak heel wat zeldzamer zijn dan over de ganse wereld (1.000 tot 10.000 maal); hier dient nog aan toegevoegd dat de overvloedigste, argon en helium, een essentieel radioactieve en niet meer primitieve oorsprong hebben. De geleidelijke concentratie van de koude kosmische bestanddelen heeft kunnen leiden tot de vorming van een bol waarvan de elementen reeds gedeeltelijk verspreid waren in functie van hun densiteit. Daar zware metalen elementen naar het midden trekken, ontstaat aldus een kern van grote dichtheid.

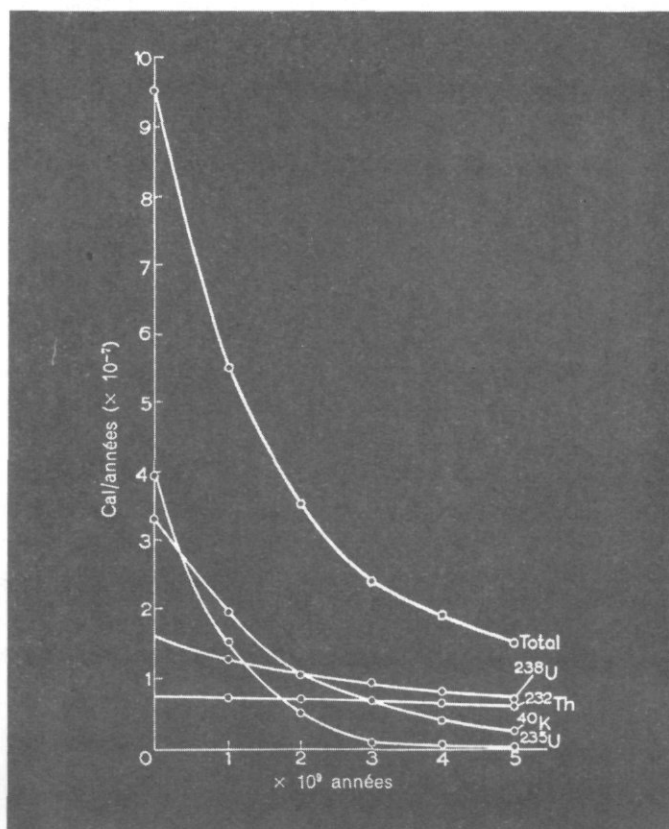
Er konden twee soorten van verschijnselen optreden om de aarde op te warmen. Enerzijds een adiabatische kompressie wegens de zwaartekracht; anderzijds de termische effecten van de radioactiviteit van de rotsen die uranium, thorium en potassium bevatten.

De aldus ontstane fusies hebben de structuur van de aardbol grondig kunnen wijzigen, waardoor het densiteitsgradiënt nogmaals onderlijnd werd: de lichtere granietachtige

Aan de Aarde geleverde warmte door de desintegratie van U, Th en ^{40}K en totale warmte van radioactieve oorsprong (in functie van de tijd).

de oorspron

door Prof. Dr. J. de Heinzelin



ge rotsen bovenaan (afgekort het SIAL), dan de bazaltachtige rotsen (afgekort SIMA) en ten slotte de diepe "mantel" van dunieten en peridotieten, ferromagnesiumrotsen van gemiddelde samenstelling (Fe, Mg), SiO_4 . Er ontstond een korst onderaan en in de schoot ervan ontloek een zeer actief vulkanisme van gesmolten magma, dat gedurende de latere geologische perioden in veel geringere omvang behouden bleef.

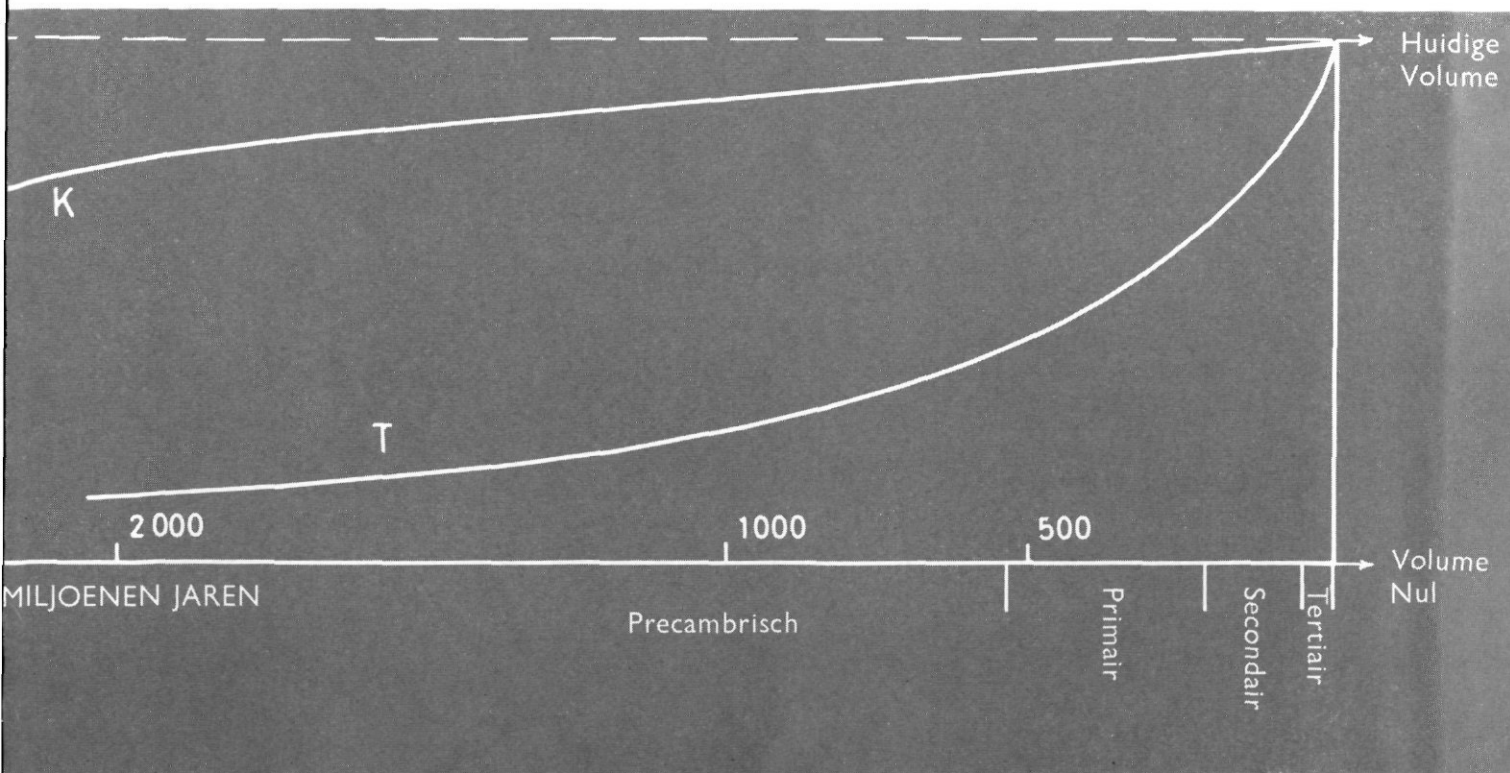
Van toen af werd begonnen met het "ontgassen" van de minerale bestanddelen, terwijl de fusies en de herkristallisaties een steeds verder doorgedreven afscheiding veroorzaken van de vluchtige lichamen. De primitieve atmosfeer, die er uit volgde, verschilde grondig van de huidige. Zij moest rijk zijn aan verdampte lucht, koolgas, ammoniak en metaan, verstoken van zuurstof, dat wil zeggen reducerend. De huidige dampkring is stellig een atmosfeer van later maaksel, voornamelijk onderhouden door het

leven van de planten, die koolgas in zuurstof omzetten door chlorophylwerking en fotosynthese. Het is inderdaad uitgesloten te denken dat de zuurstofmolekulen, met hun grote scheikundige reactiviteit, vrij zouden kunnen blijven bestaan in een wereld, overgeleverd aan louter scheikundige reacties, zonder biologisch geregenereerd te worden. Wanneer drukking en temperatuur van de atmosfeer zich, na een voldoende termische diffusie, aan de kritieke drukking en temperatuur van het water aanpassen, zal dit zich in twee fasen splitsen, de oceanische vloeibare fase en de atmosferische dampfase, sindsdien onderling verbonden door een voortdurende cyclus van verdamping en condensatie.

De vloeibare fase werd vanzelfsprekend het oplosmiddel van de best oplosbare ionen: voornamelijk chloor, bromium, jodium, sodium, potassium, magnesium. Daarom is "de zee zout". De zoutaanvoer van de continentale zoete waters is zeer

der oceanen

Variaties van de hoeveelheid oceaانwater tijdens geologische perioden, volgens twee auteurs (K = Kuenen; T = Twenhoffel).



verschillend van samenstelling en brengt slechts geringe wijzigingen in de samenstelling der oceaankorsten. Bij een gemiddeld zoutgehalte der oceanen van 35 %, moet de zoutachtige massa $50 \cdot 10^{21}$ gr (50 miljoen megaton) bedragen. (1) De zouten, die jaarlijks door de rivieren worden aangevoerd, maken slechts een uiterst klein gedeelte uit van $5,5 \cdot 10^{-8}$ hetzij 5 honderd miljoenste; waarvan het grootste gedeelte trouwens samengesteld is uit koolzuurzouten, silikaten en calciumsulfaten, die uiteindelijk op de zeebodems terecht komen en er blijven liggen en aldus aan het eigenlijke oceanisch vloeibaar milieu ontsnappen.

Op een gans andere wijze gaan de water- en zoutmassa's van de oceaan gedurende de geologische perioden toenemen: door de aanvoer van waters, die men "jeugdig" noemt of, zo men wil, vulkanische van diepe oorsprong, magmatische, en dit zowel in de schoot van de vastelanden als onder water. Dit is enigermate de vertraagde voortzetting van het "ontgassen" van de gesmolten mineralen, ontstaan door de primitieve atmosfeer.

De schattingen zijn zeer verschillend volgens de auteurs en de aangenomen veronderstellingen: sinds het Cambrium (500 miljoen jaar) zou er volgens de eenen 5 % van het water der oceanen bijgekomen zijn; 25 % sinds het Krijttijdperk volgens de anderen. Ongeacht zijn snelheid kan de realiteit van de aanvoer van jeugdig water niet in twijfel gebracht worden. Men kan er een bewijs van zien in de schikking der onderzee-"guyots", afgeknotte vulkanen die zich op grote diepten onder het zeeoppervlak bevinden, in het bijzonder onder de noordelijke Stille Zuidzee, maar die toch zowat overal onder de andere oceaankorsten worden opgemerkt.

Hun kruin werd afgeschuurd door de golven en er ontstonden stranden en klippen; sommige heeft men tot in het Krijttijdperk kunnen terugbrengen (een 100 miljoen jaar geleden), die zich thans op 1.000 of 1.500 m diepte bevinden en nog op 3.500 m de bodem van de oceaankorsten beheersen.

Wat is er gebeurd? Zijn de vulkanen onder hun eigen gewicht door isostatische herinstelling weggezakt of is het niveau der oceanen geste-

gen? Ongetwijfeld hebben de twee oorzaken gelijktijdig gespeeld. De gemiddelde diepte van de noordelijke Stille Zuidzee bedroeg in het Krijttijdperk zonder twijfel bijna 4.000 m, waarbij nog enkele honderden meters zijn bijgekomen door bodeminzinking en aanvoer van jeugdig water. (2)

Wij hebben hoger de onderlinge afhankelijkheid op de voorgrond gesteld die er heeft moeten bestaan tussen de vorming van de aardkorst, die van de oceanen en de aard van het vulkanisme, in een tijdstip dat misschien een 4 tot 5 miljard jaar achter ons ligt.

Uit die periode is ons geen enkel tastbaar document nagelaten en alleen onrechtstreekse beredeneringen hebben tot een zeer waarschijn-

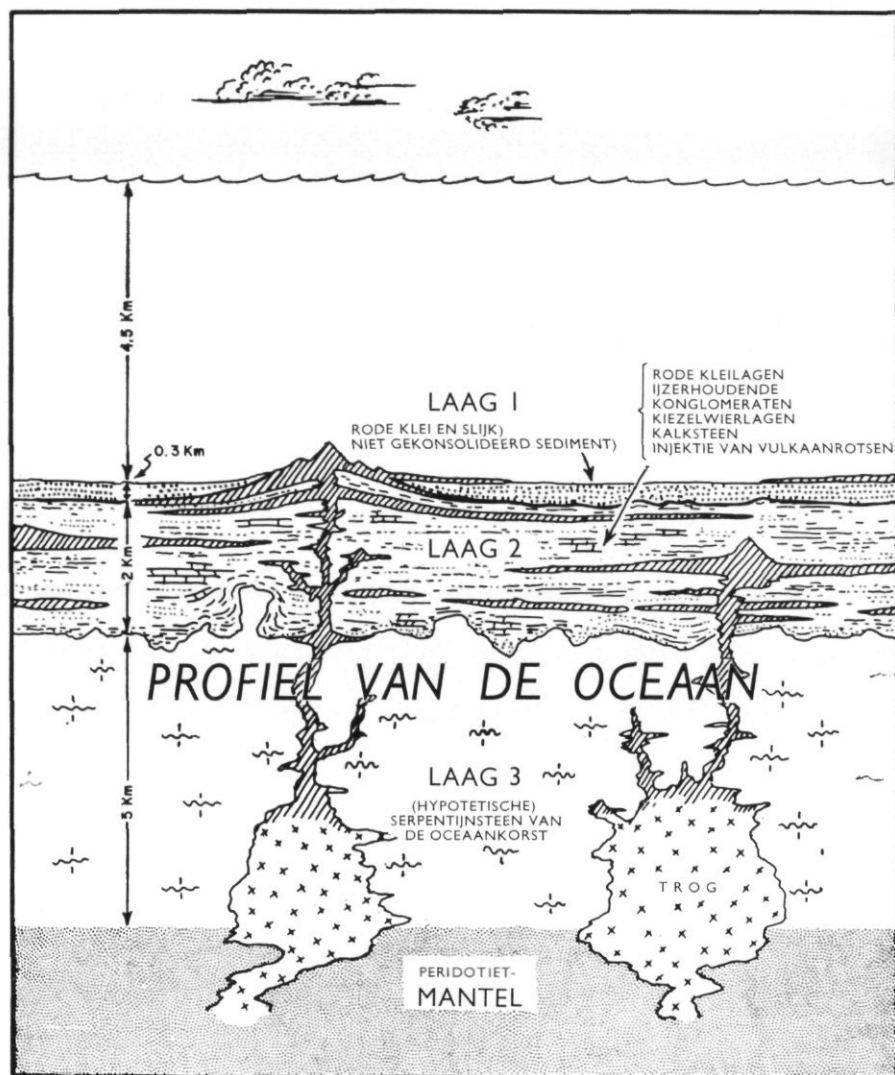
lijke hersamenstelling van de gebeurtenissen kunnen leiden.

De oudst gekende rotsen tellen inderdaad nauwelijks meer dan 3 miljard jaar: dat zijn granieten en uitzonderlijk geplooid vulkanische rotsen, die de kern vormen van de oudste en ook meest stabiele continentale massa's. Later hebben er zich op herhaalde en krampachtige wijze andere geplooid en gekonsolideerde rotspakketten aan toegevoegd die telkens aaneengesloten berg-

(1) De aardmassa bedraagt ongeveer $6 \cdot 10^{27}$ gr (zes miljoen van miljarden megaton); deze van de oceanen telt $1,42 \cdot 10^{24}$ gr (1,42 duizend miljard megaton); de oceanische zoutachtige massa telt $50 \cdot 10^{21}$ gr en vertegenwoordigt 1 honderdduizendste van de aardmassa. Eén megaton is gelijk aan een miljoen ton = 10^6 ton.

(2) Gemiddelde diepte van de Atlantische en Indische Oceaan: 3,9 tot 4 km - Gemiddelde diepte van de Stille Zuidzee: 4,3 km.

Naar "De oorsprong van het leven". Teksten gekozen en ingeleid door professor Florkin van de Universiteit van Luik (Vonigradov).



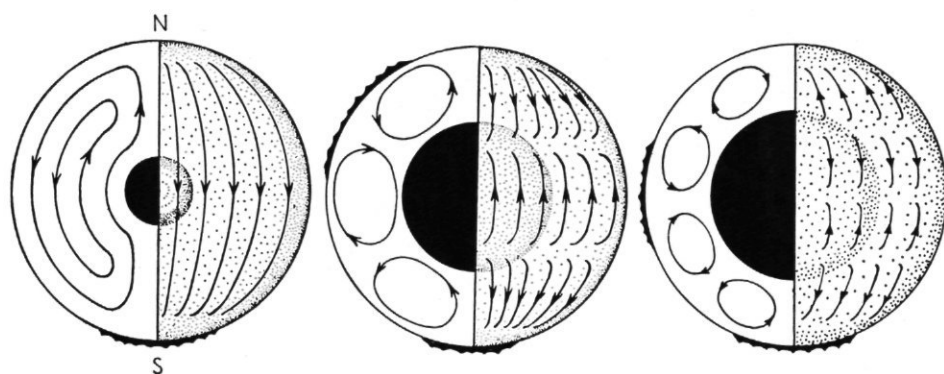
achtige reliëfs vormen. Dank zij talrijke bepalingen van absolute ouderdom door radioactiviteit kan men aantonen dat de voornaamste fazen hun hoogtepunten hadden rond 2 miljard 500, 1 miljard 800, 1 miljard 400, 950 miljoen, 500 en 300 miljoen jaar.

Met de oudst gekende rotsen komen - een zeer verrassend feit - de oudste levensuitingen tot ons: meer dan 2 en half miljard jaar geleden bestonden er reeds blauwe wieren en andere éencellige organismen, beslist ook bacteriën. Het is dus zeker dat op dit ogenblik de voorwaarden van temperatuur en van het chimisme van de oceaankwaters niet sterk verschilden met de huidige.

Tegenover deze continentale structuur van de aardkorst staat de oceaansstructuur, waarvan geen gemiddeld schema te maken is door het boven elkaar plaatsen van volgende omhulsels: 4 tot 5 km water, 300 m zachte sedimenten die niet gekonsolideerd zijn ("laag 1"), 2 km van een raadselachtig mengsel van verharde rotsen met zeer onregelmatig oppervlak ("laag 2", verharde sedimenten en vulkanische rotsen?), nog 5 km tot aan de diskontinuiteit van Mohorovicic ("laag 3", bovenste gedeelte van de mantel of spiraal, silikaat van hydraatmagnesium?) en ten slotte de eigenlijke mantel. Hieruit volgt dat de diskontinuiteit van Mohorovi-

diepte meet. Zijn samenstelling beantwoordt waarschijnlijk aan de formule $(\text{Fe}, \text{Mg})_2 \text{SiO}_4$. Volgens berekeningen van de verschillende auteurs bereikt zijn temperatuur 1.000 tot verscheidene duizenden graden centigraden; de inwendige druk is geweldig en brengt een mechanische werking en fazenevenwichten met zich die heel wat verschillen met die van de oppervlakte.

Men stelt zich thans voor dat het onderste gedeelte, ongeveer onder de 70 km, enigermate plastisch is en zeer langzame bewegingen van thermische konvektie ondergaat, die analoog zijn aan die van een vloeistof in een langs onder verwarmd



Verskillende
konvektiemogelijkheden
in de mantel
van de aardbol
(Naar
"Continental Drift"
1963 door Runcorn).

Een praktisch bestendig net van spleten loopt door de aardkorst heen

De continenten, waarvan de geschiedenis, zoals wij gezien hebben, zo lang en zo complex is, lijken ons thans een mozaïek van bundels, waarin granietachtige, sedimentaire, vulkanische en metamorfische rotsen zijn doorgedrongen welke een gemiddelde dikte hebben van 35 km, gaande tot 60 km. Zij hebben een geringere densiteit dan de rotsen van grote diepte en rusten op de "mantel" van bazaltachtige rotsen, nabij de kruin waarop de "diskontinuiteit van Mohorovicic" gelegen is, welke de seismische golven ontdekt en een structuurverandering der rotsen waarneemt. De mantel loopt door tot op 2.900 km diepte, zetel van een belangrijke diskontinuiteit met de "kern".

cic heel wat dichtter bij het oppervlak onder de oceanen ligt (gemiddeld 11,5 km) dan onder de continenten (35 km gemiddeld en tot 60 km).

De schijnbare ouderdom van de gekende oceaansrotsen is een tweede tegenstelling met de continenten: alle zijn betrekkelijk jong, zowel de vulkanische (bazaltachtige) als de sedimentaire. Bij het gemiddeld ritme van de oceaansedimentatie zou laag 1 nauwelijks meer dan 75 miljoen jaar kunnen tellen (Boven-Krijttijdperk, einde van het Sekondaire). Misschien vertegenwoordigt laag 2 een bepaald gedeelte van de vorige geologische tijdvakken, maar men is nog ver verwijderd van de miljarden jaren, die voor de continenten gekend zijn.

Hoe kan men deze tegenstrijdige gegevens verzoenen? Hiertoe dient men de theorieën een eindje verderop te duwen ten einde te verklaren hoe de bestendige aangroei van de continenten is geschied.

Keren we terug naar de mantel, het dik omhulsel van zware basische rotsen, dat van 11,5 tot 2.900 km

vat. Aldus zullen er stijgende en dalende kolommen ontstaan tussen een net van konvektiecellen. De materie, die zich van een stijgende kolom naar een dalende begeeft en onvermijdelijk een horizontale weg moet kruisen, kan een gedeelte van de bovenste mantel schaven en verwijderen door wrijving en dit zou de motor zijn van de vervormingen, plooiën en scheuren van de aardkorst. Naargelang het geval zou men de continenten en oceanen zien splitsen of samenvoegen. Zoals bijvoorbeeld de samenvoeging van de bodem van de Stille Zuidzee tegen de Amerikaanse Rots- en Andescordilleras. Zoals ook de samenvoeging van de oude continenten die de ketting Alpen-Himalaya volgen.

Ingevolge talrijke campagnes van echopeiling in diepe oceanen is het duidelijk geworden dat een praktisch bestendig net van spleten de aardkorst doorloopt. Deze spleten snijden "dorsale" delen uit in de verhoogde oevers die voornamelijk oceanisch zijn, doch die soms ook

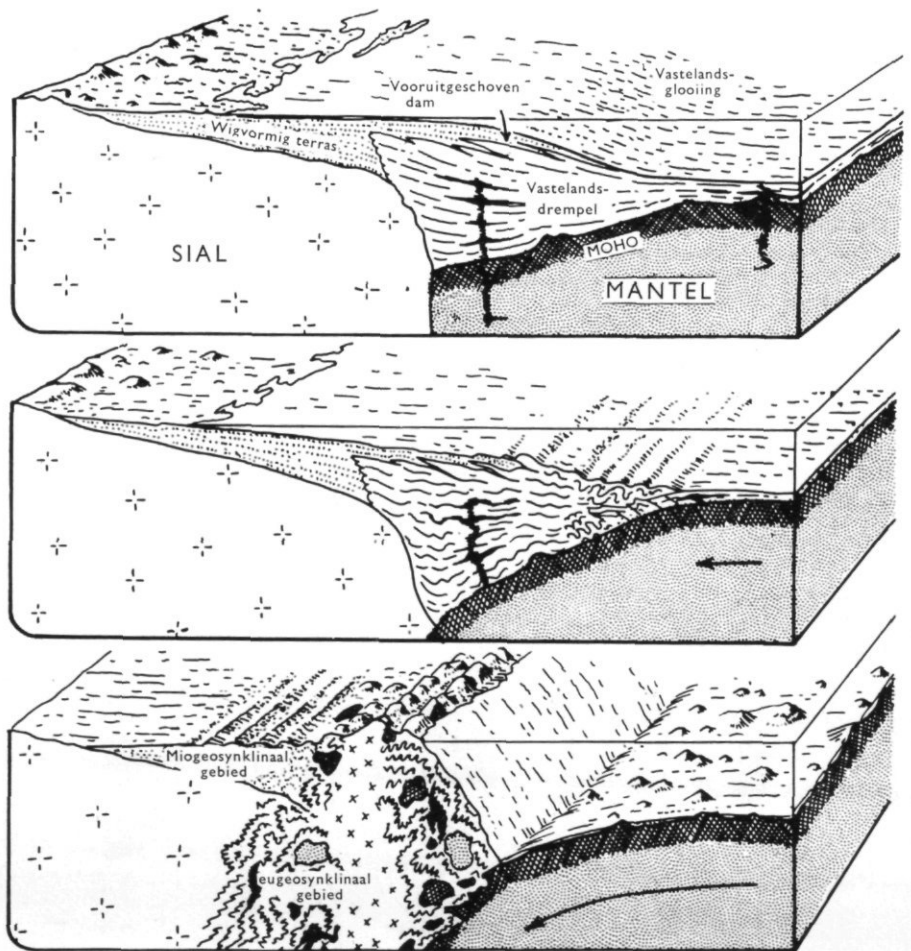
midden door eilanden of continenten lopen. Aldus verdeelt het dorsale Atlantisch centrum IJsland en verdelen de grote Afrikaanse kuilen het Nyassa-Afrika van Tanganyika om de Rode Zee te vervoege langs Ethiopië. Onlangs kwam aan het licht dat de oceanische dorsalen de zetel zijn van een aanzienlijke termische vloed, 5 tot 6 maal groter dan de normale termische vloed van de continenten en oceaانبekkens, wat voldoende de tussenkomst bewijst van warme en diepe magma's. De gespleten dorsalen zouden dus de zetel onthullen van de stijgende kolommen der konvektiestromen in de mantel.

Wanneer wij de hypotese nog wat verder doordrijven, kan men zich inbeelden dat de oceaانبodems zich langzaam "afrollen", te beginnen van de grote spleten en zich op deze wijze zijdelings uitstrekken. In contact met de continenten kunnen zij er ofwel onder wegzinken, volgens reusachtige spleetvlakken waarop zich jonge gebergten oprichten, ofwel geleidelijk de continentale massa's verwijderen. Het eerste geval zou dit van het contact tussen de Stille Zuidzee en het Andesfront zijn. Het tweede zou dit van Zuid-Amerika en Afrika zijn, het Atlantisch centrumdorsaal dat dienst doet als voedsellijn van de oceaانبodem.

Men kan trouwens bewijzen dat onder meer bij belangrijke gedeelten van de bodem van de Stille Zuidzee het ene vergeleken met het andere zeer aanzienlijke zijdelingse verplaatsingen heeft ondergaan.

Tussen Hawai en de Noord-Amerikaanse kust bestaat er een reeks parallelle spleten volgens dewelke zich grote caissons van de korst met betrekkelijk verschillende snelheden verplaatst hebben.

Biezonder delicate magnetische metingen hebben de structuur in overeenstemming kunnen brengen van de diepe vulkaanrotsen, die door de sedimenten uit grote diepten bedekt zijn en uit de analyse der kaarten blijkt dat deze structuren in bepaalde gevallen verplaatsingen hebben ondergaan van 1.420 km (zogezegde spleten van Mendocino en Pionner). De verplaatsingsbewegingen, die wij hier aanhalen, brengen de goedgekende theorie in herinnering van de 'drijvende continenten' (Wegener 1912) met dit verschil dat men thans



Theoretische ontwikkeling van een cordillera bij contact met een kontinent en een oceanografische bodem. (Naar "The Geological Society of America". Bulletin van juli 1963)

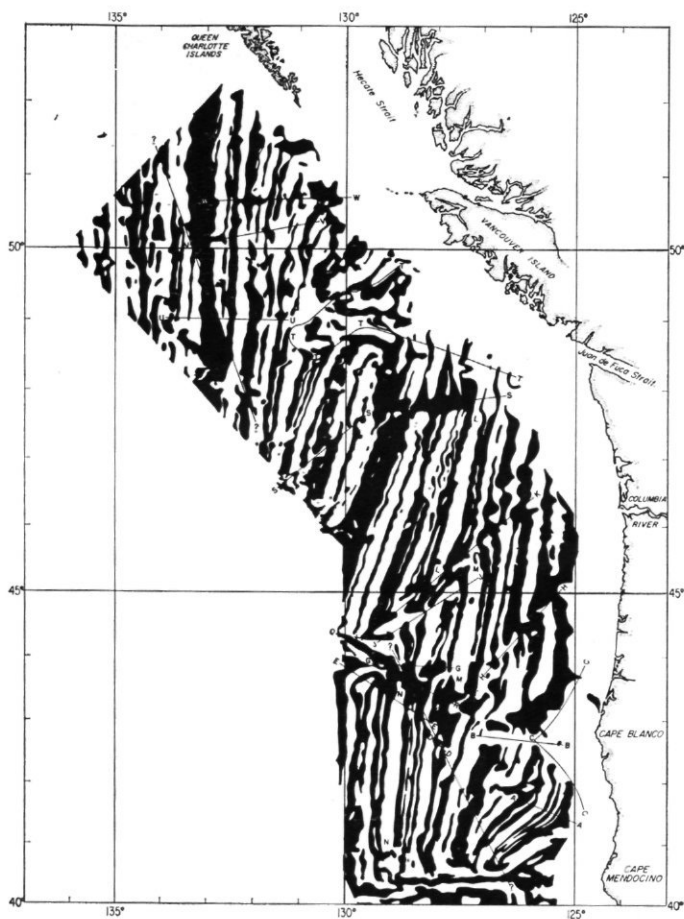
de zetel van de betrokken krachten heel wat dieper situeert en dat men zich de solide korst veel dikker voorstelt, minstens 70 km. Het is inderdaad onmogelijk in de geest het beeld te bewaren van betrekkelijk dunne continenten welke als vloten op de zachte en plastische oceaانبodems zouden drijven. Deze hypotese, die destijds geniaal leek, is mechanisch onverdedigbaar, maar zij beïnvloedde grotelijks de geschiedenis van de geologie door voor de eerste maal een beweeglijkheid naar voren te brengen.

Tot nog toe hebben wij in onze discussie impliciet aanvaard dat de vorm en het volume van de aarde in hun geheel sinds onheuglijke tijden praktisch konstant zijn gebleven. Dit schijnt zo vanzelfsprekend dat men er in de verhandelingen over geologie nooit bevestiging noch ontkenning over vindt. Maar zo wij thans in onze vermetelheid zouden

aanvaarden dat de aarde een bestendige verwijding ondergaat? Deze idee is juist het tegendeel van de vroegere, volgens dewelke de aarde afkoelt, zich samentrekt en "ineenschrompelt als een appel", maar zij kan toch bogen op enkele fysische rechtvaardigingen.

Het is inderdaad mogelijk dat de gravitatieconstante evolueert in omgekeerde verhouding tot de ouderdom van het universum en dat de sterrenlichamen aldus langzaam kunnen uitzetten.

Indien dit zich werkelijk aldus voordoet zou het dilemma, waarover wij spraken, gemakkelijk opgelost zijn: hoe is het mogelijk dat al die oude continenten zich maar hebben kunnen uitbreiden terwijl de betrekkelijk jonge oceanen zich langs hen neerzetten? Men blijft het antwoord nog schuldig, maar op dit gebied kan het fantastische van vandaag de banaliteit van morgen worden.



Positieve magnetische anomalieën van een gedeelte van de bodem van de Stille Zuidzee. (Naar "The Geological Society of America" Bulletin van augustus 1961 - Raff and Mason)

Schematisch zicht van het reliëf van de Atlantische Oceaan onder de Evenaar, welk de spleten toont die de Oceaan-cordillera verplaatsen. (Naar Bruce C. Heezen and Marie Tharp)

